

На правах рукописи

ЮЗМУХАМЕТОВ Фарид Дамирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛО-И
ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ
АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДОМ
ИМПУЛЬСНО НАГРЕВАЕМОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ
ТЕМПЕРАТУРАХ ДО
600К.**

Специальность 05.14.05 – теоретические основы теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Казань - 2000

Работа выполнена в Казанском государственном технологическом университете.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор А.А.Тарзиманов
кандидат технических наук, с.н.с. Ф.Р.Габитов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.В.Фафурин
кандидат технических наук, доцент Ф.Н.Дресвянников

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт углеводородного сырья (Казань).

Защита диссертации состоится 9 июня.2000 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 063.37.02 в Казанском государственном технологическом университете по адресу:
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68 (зал заседаний Ученого совета КГТУ, А-330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технологического университета.

Автореферат разослан 4 мая 2000 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000947690

Учёный секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

А.Г.Лаптев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Широкое использование органических жидкостей в тепло-и массообменном оборудовании различного целевого назначения требует знания их основных теплофизических свойств (ТФС), к числу которых относятся теплопроводность λ и температуропроводность a . Кроме практического значения сведения об указанных ТФС являются ценным источником информации для развития общих закономерностей о механизме переноса тепла, что непосредственно связано с фундаментальными проблемами жидкого состояния вещества, которые в настоящее время нельзя считать решенными.

Возрастающий объем исследований ТФС предъявляет повышенные требования к экспериментальным исследованиям. Быстродействующий комплексный метод исследования, которым одновременно измеряются λ и a , нестационарный метод кратковременных измерений в стадии иррегулярного теплового режима – метод импульсно нагреваемой проволоки (МИНП), используется для определения ТФС жидких ароматических углеводородов. Ароматические углеводороды занимают одну из ключевых позиций в химической промышленности и служат сырьем для получения важнейших продуктов.

Имеющиеся в справочной литературе данные по λ, a ароматических углеводородов, полученные традиционными стационарными методами, представляют собой эффективные значения, включающие в себя молекулярную λ_m и радиационную λ_r составляющие. Это обусловлено полупрозрачностью большинства органических жидкостей для ИК-излучения, к которым относятся и ароматические углеводороды. Эти значения могут отличаться от истинных молекулярных до 20% и более. Только для нескольких веществ в справочниках по ТФС жидкостей даны молекулярные значения теплопроводности. Большим преимуществом МИНП является то, что за время измерения тепловая волна от зонда проникает в среду на очень маленькую глубину. Если эта глубина меньше длины свободного пробега фотона, то зондируется прозрачная

жидких органических соединений в широком диапазоне температур.

Практическая ценность Теплофизические свойства жидких ароматических углеводородов, не искаженные радиационным теплопереносом, представляют практическую ценность для научно-исследовательских институтов, проектных организаций и предприятий.

Разработанные методика измерения комплекса ТФС и автоматизированная экспериментальная установка по МИНП могут быть рекомендованы для исследования ТФС, не искаженных радиационным теплопереносом, в широком диапазоне температур и давлений.

Результаты работы введены в банк физико-химических свойств ВНИИУСа (г.Казань) и используются в проектных и исследовательских работах.

Апробация работы. Основные положения и результаты доложены и обсуждены на:

- ♦ 12 European conference on thermophysical properties (Vienna, Austria, 1990);
- ♦ 9^{ой} теплофизической конференции СНГ (Махачкала, 1992);
- ♦ итоговых научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Казанского государственного технологического университета в 1989-2000 г.г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Полный объем диссертации 146 страниц, 98 страниц основного машинописного текста, 31 рисунок, 14 таблиц, 2 страницы приложения. Список литературы включает 80 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность и практическая значимость работы.

В первой главе рассматриваются теория и возможность практической реализации МИНП для исследования λ, α .

Идеальная модель данного метода представляет собой бесконечный линейный источник радиального теплового потока постоянной мощности, возбуждаемого в момент времени $\tau = 0$ и расположенный в неограниченной среде с начальной температурой T_0 . В нашем случае, тонкая платиновая нить ($r = 2,5 \text{ мкм}$, $L = 39,2 - 40,5 \text{ мм}$ и сопротивлением $R_0 = 228 - 235 \text{ Ом}$) помещается в

исследуемую среду, являясь одновременно термометром сопротивления и источником радиального теплового потока. В момент времени $\tau > 0$ по нити проходит постоянный электрический ток, который вызывает выделение теплоты постоянной мощности с единицы длины q_L . Измерительная ячейка соответствует идеальной модели бесконечного линейного источника тепла постоянной мощности. Температурное поле жидкости изменится в соответствии с уравнением теплопроводности Фурье.

Постановка задачи для идеальной модели линейного источника тепла при $\tau \geq 0$ следующая

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

При следующих краевых условиях: при $\tau = 0$, $T = T_0$; при $r \rightarrow \infty$, $T \rightarrow T_0$; при $r = r_0$, $-2\pi r_0 \lambda (\partial T / \partial r) = q_L$.

При использовании в качестве зонда проволоки очень малого радиуса с достаточной степенью точности решение данной модельной задачи может быть записано в виде (Г. Карслоу и Д. Егер. Теплопроводность твердых тел. М.1964):

$$\Delta T = T - T_0 = (q_L / 4\pi \lambda) \cdot \ln(4a\tau / r_0^2 C) \quad (2)$$

Решая (2) относительно температуры линейного источника тепла для двух моментов времени получают зависимость для определения теплопроводности λ жидкости, в которую погружен источник тепла:

$$\lambda = \frac{q_L}{4\pi} \cdot \frac{\ln(\tau / \tau_0)}{\Delta T(\tau) - \Delta T(\tau_0)} \quad (3)$$

Как видно из уравнения (2), метод позволяет определять температуропроводность среды. Однако точность прямых абсолютных измерений невысока, что связано с необходимостью точного определения радиуса нити, а также наличием ряда неопределенностей, обусловленных при измерении ΔT . В дальнейшем будет рассмотрена компенсационная схема относительного определения a .

Уравнение (2) справедливо для бесконечного линейного источника тепла постоянной мощности. Хотя в измерительной ячейке применяются очень тонкие по сравнению с длиной нити платиновые провода (отношение длины к диаметру более 10^4), были внесены некоторые поправки, учитывающие отклонения от идеальности: на влияние теплоемкости нити, на изменение длины нити с температурой, на излучение с поверхности нити. Сумма всех вводимых поправок в случае измерения λ органических жидкостей линейным зондом $\varnothing 5$ мкм в наших опытах не превышала 1-2%. В случае же измерения α по компенсационной схеме отпадала необходимость во введении поправок, за исключением поправки на изменение длины нити с температурой.

Практическое решение МИНП включает три основных момента:

- а) создание измерительного датчика;
- б) нагрев датчика с помощью устройства, генерирующего прямоугольные импульсы напряжения;
- в) регистрация изменения температуры (сопротивления датчика) во времени $\Delta T = f(\tau)$.

Для разогрева датчика используется мостовая схема, где датчик R_1 включается в одно из плеч моста (рис.1). Питание мостовой схемы осуществляется от источника постоянного тока (кислотные аккумуляторы постоянного тока, общее напряжение ~ 12.6 В, емкость 60 А·ч). Импульсное напряжение заданной длительности формируется оптронно-транзисторным ключом К1. В начальный момент времени схема сбалансирована, т.е. ($R_1 = R_3; R_2 + R_7 = R_5 + R_6 + R_1$). При пропускании тока заданной мощности Q_L ведется регистрация $\Delta T = f(\tau)$. Для регистрации разработано и реализовано автоматизированное устройство сбора и обработки информации на базе персонального компьютера. В дальнейшем, исходя из (3), с учетом поправок определяется λ .

Для измерения α реализуется компенсационная схема относительных измерений (Рис.1). Отличие от абсолютной схемы измерения состоит в добавочном компенсационном датчике

$R_k = R7$ (подобен R_1), который предназначен выдавать постоянный сигнал сравнения. Это обеспечивается тем, что во всех измерениях R_k находится в одной среде (н-пентадекан) и при одной T (в термостате с тающим льдом), а также тем, что сила тока в обоих плечах моста поддерживается неизменной. Это обеспечивается условием $R_1 + R_2 + R_k = R_3 + R_5 + R_6 + R_i$.

Принцип измерений заключается в следующем. Сначала проводится тарировочный эксперимент, т.е. R_1 помещается в эталонную жидкость с известными λ_3 и a_3 , и проводится определение зависимости:

$$\Delta T_{i3} = f(\tau) \quad (4)$$

Далее идет переход к непосредственным измерениям. Теперь R_1 помещается в исследуемую жидкость и определяется зависимость:

$$\Delta T_i = f(\tau) \quad (5)$$

Далее с учетом основного уравнения (2), находится условие равенства (4) и (5) для моментов времени τ_i и τ_{i3} , которое может быть представлено в виде:

$$\frac{\Delta T(\tau_i) - \Delta T(0)}{\operatorname{tg} \varphi_i} = \frac{\Delta T(\tau_{i3}) - \Delta T(0)}{\operatorname{tg} \varphi_{i3}} \quad (6)$$

$$\text{где } \operatorname{tg} \varphi = \frac{q_L}{4\pi\lambda};$$

В результате получаем выражение для определения a_1 :

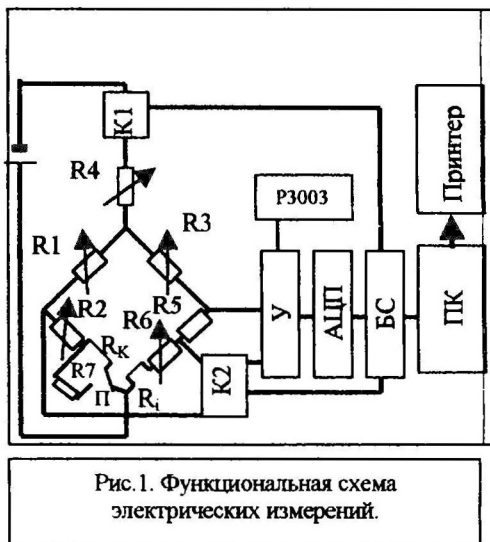
$$a_1 = (a_3 \tau_{i3}) / \tau_i \quad (7)$$

Во второй главе: рассматриваются экспериментальная установка (конструкции измерительных ячеек, автоклава, систем термостатирования и поддержания давления), измерительная схема. Изложены методика и анализ погрешностей измерения λ и a .

Для исследования λ и a жидких ароматических углеводородов была создана экспериментальная установка. Измерительная ячейка, автоклав, системы термостатирования и поддержания давления позволяют проводить измерения до температур

500К (жидкостной с термостатирующей жидкостью ПМС-200), 600К (сухой, воздушный термостат) и давлений до 30 МПа.

Измерительная схема (рис.1) позволяет проводить измерения λ , а при минимальных изменениях в схеме, а автоматизированное устройство сбора и обработки информации, обеспечивает регистрацию импульсов нагрева длительностью 0.003-0,1 секунд. В течение одного импульса регистрируются 224 значения $\Delta T = f(\tau)$.



Принцип работы экспериментальной установки заключается в измерении и запоминании дискретных значений напряжений разбаланса моста в конкретно-заданные моменты времени с начала подачи импульса напряжения, с последующим вычислением λ , а исследуемой среды. Оптрон 30Д101А (в ключе K1) развязывает задающие цепи от мостовой схемы. Резисторы R1-R4, R6, R7 - малоиндуктивные магазины сопротивлений P 4830/1 класса точности 0.02. Переключатель П позволяет перестраивать схему на измерения λ и α .

Длительность импульса 3-100мс задается с клавиатуры персонального компьютера ПК. Импульс формируется программно-собственным кварцевым генератором ПК, и через блок согласования БС подается сигнал на открытие и после истечения необходимого времени - на закрытие оптронного ключа K1. Напряжение разбаланса мостовой схемы измеряется с помощью двенадцатиразрядного аналого-цифрового преобразователя АЦП Ф4223 класса точности 0.25. Для усиления малого сигнала разбаланса моста и согласования этого сигнала с пределами измерения АЦП ($\pm 5В$) предназначен усилитель-нормализатор У, специально разработанный и изготовленный. Коэффициент усиления усилителя $K_y=200-2000$ задается ПК. Точное значение коэффициента усиления определяется в автоматическом режиме перед каждым измерением разбаланса моста и силы тока. Компаратор P 3003 класса точности 0,0005 формирует опорное напряжение, необходимое для определения уточненного

значения коэффициента усиления. Одновременно проверяется дрейф "0-нуля" усилителя.

При подаче импульса в диагонали моста возникает сигнал разбаланса, при этом регистрируются 224 значения напряжения разбаланса (соответственно температуры) в течение одного импульса нагрева датчика. В течение второго импульса в те же моменты времени производятся замеры величины силы тока, протекающего через датчик. Измерение тока проводится с помощью АЦП и образцовой катушки сопротивления R5 марки P 324 номиналом 1 Ом, включенной в диагональ мостовой схемы. Переключение схемы на измерение силы или напряжения тока производится ключом K2. При измерении α сила тока не измеряется. Как длительность импульса, так и временные интервалы между импульсами формируются программно собственным кварцевым генератором ПК с погрешностью ± 4 мкс.

Возможна работа автоматизированной системы измерения в циклическом режиме. При этом программно, по команде компьютера оптронным ключом формируется заданное количество импульсов нагрева зонда. С клавиатуры компьютера задавалась длительность пауз между импульсами (5-20с), выбранная из условия, чтобы температурное поле, созданное предыдущим импульсом, в паузе между импульсами практически полностью исчезло. После накопления заданного количества измерений автоматически проводилась статистическая обработка результатов замеров. Приращение сопротивления датчика пересчитывалось в приращение температуры по тарировочной зависимости.

Предварительно датчик тарировался по образцовому платиновому термометру сопротивления ПТС-10.

Далее определялись λ и α по зависимостям (3),(6),(7), учитывая отклонения измерительной

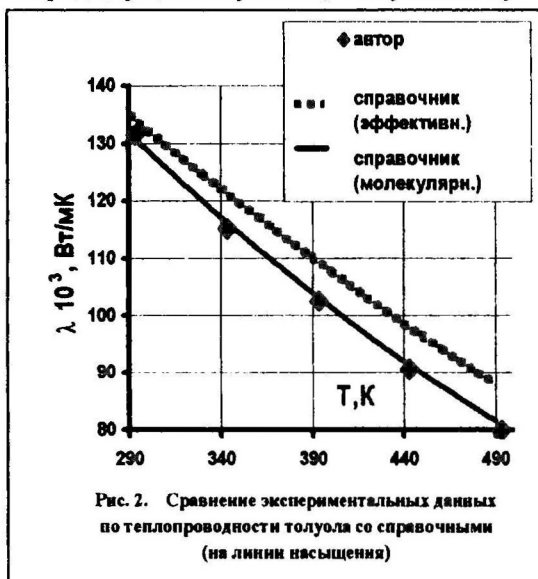


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных по теплопроводности толуола со справочными (на линии насыщения)

ячейки от теоретической модели. Проанализированы погрешности измерений λ и α , которые составляют 1% и 3% соответственно.

В третьей главе анализируется состояние вопроса исследования λ, α ароматических углеводородов и приводятся результаты экспериментальных исследований.

С целью проверки надежности экспериментальной установки, правильности методики проведения экспериментов были выполнены измерения λ и α толуола при температуре 293-493К. В справочнике по теплопроводности жидкостей и газов приведен подробный анализ экспериментальных данных различных авторов как по λ_m , так и по $\lambda_{эф}$ для слоев с толщиной 0.5-0.7 мм. С ростом температуры расхождения по $\lambda_{эф}$ увеличиваются до 10 %, а по λ_m наблюдается удовлетворительное согласие в пределах погрешности эксперимента (рис.2). Полученные данные по α толуола удовлетворительно согласуются (в пределах погрешности эксперимента) с результатами других исследователей полученными МИНП и методом периодического нагрева (рис.3).

Для исследований использовались вещества марки чда или хч. Жидкости предварительно деаэрировались путем вакууммирования. Степень чистоты жидкостей контролировалась по показателю преломления. Во время опытов сила греющего тока была в пределах 4-6 мА, при этом нагрев датчика не превышал 1-2 К.

В диссертации приведены подробные результаты экспериментов. Молекулярная теплопроводность о-ксилола (при $T > 373K$), (п-,м-)ксилолов (при $T > 293K$), этилбензола (при $T > 473K$) и изопропилбензола (при $T > 373K$) исследована впервые.

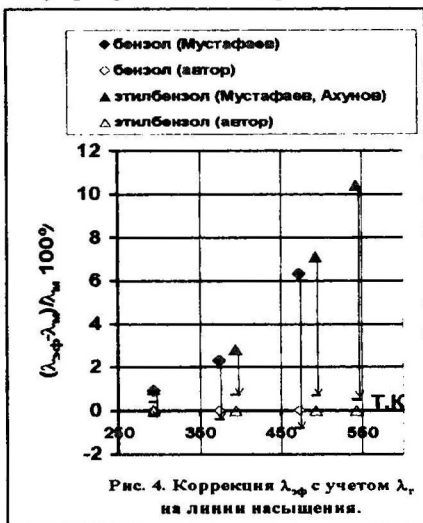


Рис.3. Сравнение экспериментальных значений температуропроводности толуола в зависимости от температуры на линии насыщения

Экспериментальные данные по температуропроводности, за исключением данных по толуолу и единичных точек по бензолу, этилбензолу (при $T=293\text{K}$), получены также впервые. В таблице указана область исследования λ , а жидких ароматических углеводородов.

Исследованные вещества.				Таблица
ВЕЩЕСТВО	Хим. Форм.	Свойство	P, МПа	T, K
БЕНЗОЛ	C_6H_6	λ , а	P_s	293-493
ТОЛУОЛ	C_7H_8	λ , а	P_s	293-493
О-КСИЛОЛ	C_8H_{10}	λ , а	P_s	293-493
М-КСИЛОЛ	C_8H_{10}	λ , а	P_s	293-493
П-КСИЛОЛ	C_8H_{10}	λ , а	P_s	293-493
ЭТИЛБЕНЗ.	C_8H_{10}	λ , а	$P_s -30$	293-593
изопроп.бенз.	C_9H_{12}	λ , а	$P_s -30$	293-593

Известно, что эффект полупрозрачности органических жидкостей существенно зависит от температуры ($\lambda_r \sim T^3$). Зависимость λ_r от давления для жидкостей невелика. Поэтому для большинства веществ измерения проводились в широком диапазоне температур при давлениях близких к давлению насыщения. Преимуществом автоматизации на базе персонального компьютера в современном теплофизическом эксперименте является возможность накопления и статистической обработки первичной информации при числе замеров 10-15 при одних и тех же P и T, что уменьшает влияние случайных ошибок на получаемый результат.



Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что во всех случаях наши значения λ и α находятся ниже справочных. Если при комнатной температуре эффект переизлучения сравним с погрешностью эксперимента, то при повышенных температурах он достигает значительной величины (10-12%) при температурах близких к 600 К.

В четвертой главе приводится краткий обзор теоретических решений задач радиационно-кондуктивного теплообмена (РКТ), рассматриваются основные радиационные свойства, необходимые для расчетов, выполняется анализ и обобщение результатов измерений.

Как уже отмечалось, наши данные по λ, α расположены систематически ниже результатов прежних измерений, полученных традиционными методами (плоского слоя, коаксиальных цилиндров, нагретой нити).

Расчеты радиационной составляющей теплопроводности λ_r , присутствующей в $\lambda_{эф}$, проводились в селективно-сером приближении по модели Шоделя. На рис.4. показано, что внесение поправки на радиационный теплоперенос уменьшает расхождения данных, полученных традиционными методами, с нашими результатами с 6-12% до 1-2%.

Расчет λ_r для внесения поправок в результаты традиционных методов очень трудоемкая задача. В частности, требуется проведение дополнительных экспериментов по определению спектральных радиационных характеристик исследуемой среды и ограничивающих её поверхностей.

Поэтому для упрощения задачи нами предложена методика пересчета эффективных справочных значений $\lambda_{эф}$ в молекулярные λ_m^p .

Проведенные исследования показывают, что $\lambda_r \sim T^3$. Исходя из этого λ_r рассчитывалось по формуле:

$$\lambda_r = cT^3 \quad (8)$$

где постоянная c , индивидуальная для каждого вещества, выбрана на основе значений λ_r , вычисленных по модели Шоделя при $T=293$ К.

Располагая опытными данными $\lambda_{эф}$ и рассчитав величину λ_r по уравнению (8), можно найти значение молекулярной теплопроводности

$$\lambda_m^p = \lambda_{эф} - \lambda_r \quad (9)$$

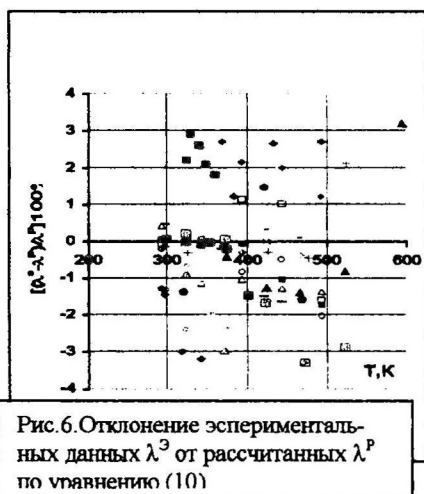
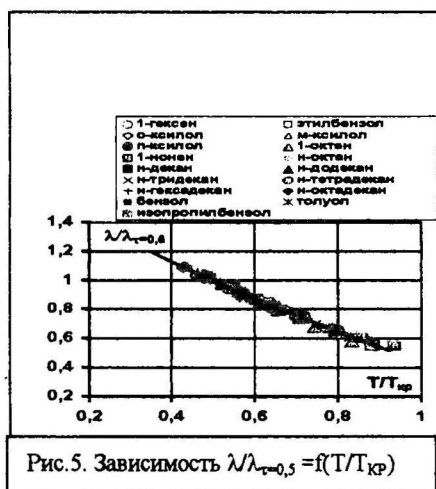
Отклонение экспериментальных значений λ_r от рассчитанных по предложенной методике не превышает 3% от λ .

Для получения обобщающих зависимостей использован закон соответственных состояний. Имеющиеся опытные данные различных авторов по λ_m н-алканов, алкенов, ароматических углеводородов (на линии насыщения) были представлены в приведенных координатах.

Как видно из рис.5,6, опытные точки достаточно хорошо (максимальное отклонение не превышает 3%, среднеквадратичное отклонение 1.5%) укладываются на единую кривую, которая описывается уравнением:

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\hat{\tau}=0.5}} = 1.830 - 1.980\hat{\tau} + 0.634\hat{\tau}^2 \quad (10)$$

где $\hat{\tau} = T/T_{кр}$, $\lambda_{\hat{\tau}=0.5}$ - теплопроводность при $\hat{\tau} = 0.5$.



Отклонение экспериментальных значений $\lambda^э$ от рассчитанных по уравнению (10) для 17 вещества из 3 классов соединений

углеводородов не превышает 3%. Уравнение (10) справедливо в диапазоне $0,4 < \bar{\tau} < 0,85$.

Для описания α и C_{pr} на линии насыщения предложены уравнения

$$\alpha / \alpha_{\bar{\tau}=0,5} = 2.302 - 3.487\bar{\tau} + 1.682\bar{\tau}^2 \quad (11)$$

$$C_{pr} = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{\lambda_{\bar{\tau}=0,5}}{\alpha_{\bar{\tau}=0,5}} \left[\frac{1.830 - 1.980\bar{\tau} + 0.634\bar{\tau}^2}{2.302 - 3.487\bar{\tau} + 1.682\bar{\tau}^2} \right] \quad (12)$$

Отклонение экспериментальных значений температуропроводности ароматических углеводородов и алканов от уравнения (11) не превышает 3%. Отклонение значений C_{pr}^3 от уравнения в основном не превышает суммарной погрешности измеренных МИНП значений λ и α .

Уравнения (11) и (12) справедливы для ароматических углеводородов, n-алканов при $0,4 < \bar{\tau} < 0,85$.

По полученным уравнениям можно рассчитывать молекулярные ТФС еще не исследованных веществ.

В приложении приведены акт внедрения и схемы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

1. Разработаны теоретические основы измерения α МИНП, защищенные патентом на изобретение.
2. Создана экспериментальная установка по МИНП для исследования λ, α жидких органических углеводородов (не искаженных радиационным переносом энергии) при температурах до 600K и давлениях до 30 МПа.
3. Разработано и создано устройство для автоматического измерения λ, α (на базе персонального компьютера), защищенное патентом на изобретение.
4. Проведено исследование λ, α 7 жидких ароматических соединений в области температур до 600K и давлений до 30 МПа.. Полученные значения ТФС не искажены радиационным переносом энергии.
5. Предложена методика расчета λ_r различных веществ для корректировки $\lambda_{эф}$ теплопроводности, полученных традиционными методами измерения.

6. С использованием закона соответственных состояний получены единые уравнения, описывающее и прогнозирующее ТФС представителей 3 рядов жидких органических веществ (н-алканы, алкены, ароматические углеводороды) в широком диапазоне температур.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Tarzimanov A.A., Gabitov F.R., Sharafutdinov R.A., Yuzmuchametov F.D. On estimation of the radiant component at measurement of liquid thermal conductivities at high temperatures.// Abstracts, 12 European, Conference on Thermophysical properties. 1990. Viena, Austria. Tez. 7.25.
2. Тарзиманов А.А., Габитов Ф.Р., Юзмухаметов Ф.Д. Применение метода кратковременно нагреваемой проволоки для измерения температуропроводности жидкостей и газов. // В сб.: Тепло-и массообмен в химической технологии: Межвуз. сб. Казань. 1991. С. 3-7.
3. Тарзиманов А.А., Габитов Ф.Р., Поникарова И.Н., Юзмухаметов Ф.Д. Применение метода импульсного нагрева для различных теплофизических исследований.// ИФЖ. 1992. Т.63. № 4. С.436-441.
4. Tarzimanov A.A., Gabitov F.R., Yuzmuchametov F.D., Sharafutdinov R.A. On Estimation of the radiant component at measurement of liquid thermal conductivities at high temperatures. // High Temperatures-High Pressures. 1993. V.25. P.67-70.
5. Патент на А.С. № 2139528. РФ, МКИ⁴ G01N25/18. Устройство и способ для измерения теплофизических свойств жидкостей и газов. / Габитов Ф.Р., Юзмухаметов Ф.Д., Тарзиманов А.А., Зайнуллин И.М., Саттаров И.Р. (РФ).-№98100282; Заявлено 05.01.98; Опубл. 10.10.99, Бюл. № 28.-7с.
6. Юзмухаметов Ф.Д., Габитов Ф.Р. Тепло-и температуропроводность жидких ароматических углеводородов в интервале температур 293-593 К. / Каз. гос. технологический ун-т.- Казань, 2000.-4 с.Деп. в ВИНТИ 19.01.2000, 111-В00.

Соискатель  Ф.Д.Юзмухаметов

Заказ

Тираж 100 экз.

Офсетная лаборатория КГТУ
420015, Казань, К.Маркса, 68.